

УДК 553.48

МЕДНО-НИКЕЛЕВЫЕ РУДЫ УЧАСТКА ВОСТОЧНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ (ШАНУЧСКОЕ РУДНОЕ ПОЛЕ, КАМЧАТКА)

© 2017 Р.М. Новаков¹, Ю.П. Трухин¹, В.Е. Кунгурова¹, М.Д. Сидоров¹,
С.В. Паламарь¹, Т.М. Философова²

¹Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский, 683002; e-mail: nigtc@kscnet.ru

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006

Приведены данные о геологическом строении, геохимии, текстурно-структурных особенностях и минералогии медно-никелевых руд на участке Восточно-Геофизическом Шанучского рудного поля Камчатской никеленосной провинции. Оценены средние содержания меди, никеля, кобальта и платиноидов в рудах. Установлена последовательность кристаллизации главных (пирротин, халькопирит, пентландит) и второстепенных (виоларит, пирит, никелин и др.) рудных минералов. С использованием рентгеноспектрального микроанализатора изучены особенности составов главных рудных минералов. Построена 3D-модель рудного тела, исследовано пространственное распределение металлов в рудном теле.

Ключевые слова: Шанучское рудное поле, Восточно-Геофизический, 3D-модель, никель, медь, платиноиды.

ВВЕДЕНИЕ

Впервые медно-никелевые руды на Камчатке были обнаружены в 1959 г. (Полетаев, 2004; Смышляев, 2011). Их рудопроявления и Шанучское месторождение связаны с дукукским плутоническим комплексом норит-кортландитовой формации, интрузии которого развиты в пределах Камчатского срединного массива метаморфических пород (рис. 1а). Никеленосность этой территории с восьмидесятых годов прошлого века отмечается авторами прогнозно-металлогенических построений (Байков и др., 1988; Евстигнеева и др., 1988; Игнатьев и др., 1988; Полетаев, 1999, 2004; Сляднев и др., 2006; Трухин и др., 2008, 2011). В последние годы, благодаря работам, проведенным ЗАО НПК «Геотехнология», было разведано рудное тело на участке Восточно-Геофизическом Шанучского рудного поля Камчатской никеленосной провинции (Трухин и др., 2008, 2011). В настоящей статье рассмотрены особенности этого объекта. Построена 3D-модель рудного тела, исследовано пространственное распределение металлов. Уточнены сведения о минералогии и геохимии руд.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Геологическое строение. Участок Восточно-Геофизический располагается в восточной части Шанучского рудного поля (Трухин и др., 2011). Руды приурочены к южной оконечности небольшого интрузива дукукского комплекса, который находится в опрокинутом залегании (Селянгин, 2006) и локализованы на контакте с метатерригенными породами камчатской серии (рис. 1б, 1в). Вдоль контакта прослеживается разрывное нарушение субширотного простирания. Предполагается, что западная часть рудного тела, а также южная оконечность рудоносной интрузии незначительно смещены по разлому северо-западного простирания, вдоль которого также отмечаются выходы тел дукукского комплекса. Разведанное рудное тело имеет линзообразную форму размером 220×100 м. Мощность составляет 5–10 м (в раздувах до 35 м). По структурно-текстурным особенностям выделяются массивные, брекчиевые, прожилково-вкрапленные и вкрапленные руды. Часто отмечаются «промежуточные» разности. Главные рудные минералы представлены пирротин, пентландитом и халькопиритом (Трухин

МЕДНО-НИКЕЛЕВЫЕ РУДЫ

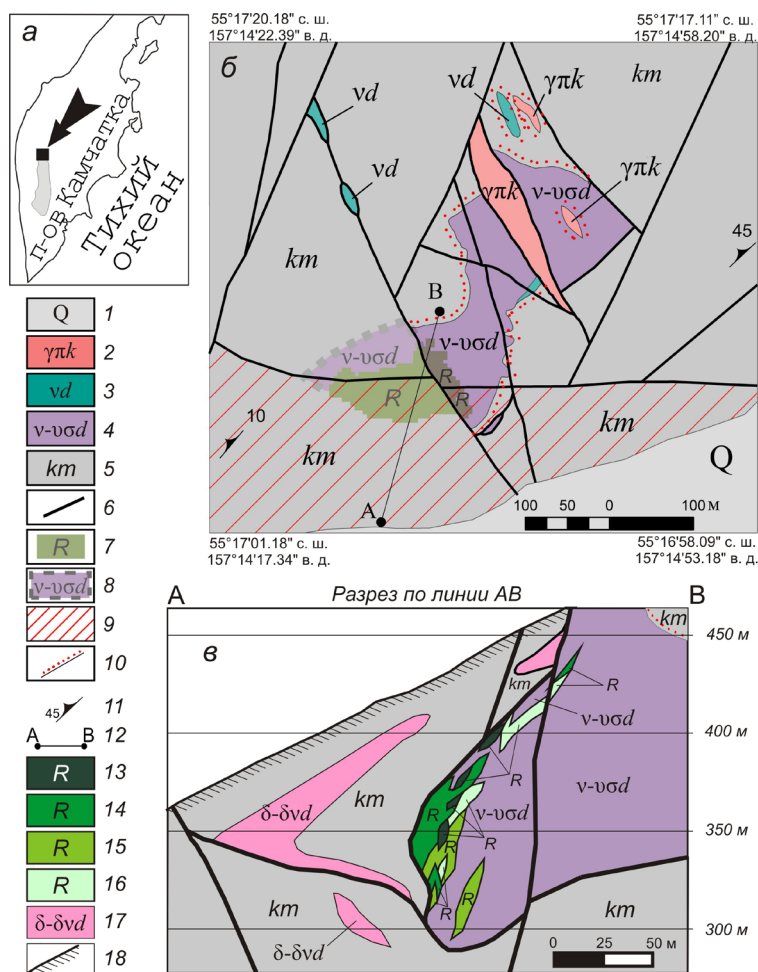


Рис. 1. Обзорная схема (а), схематическая карта (б) и разрез по линии АВ (в) участка Восточно-Геофизического. Карта и разрез составлены по данным ЗАО НПК «Геотехнология», с изменениями авторов. На обзорной схеме стрелкой указано местоположение Шанучского рудного поля, серый контур — Камчатский срединный массив. Условные обозначения: 1–6 — на карте и на разрезе: 1 — четвертичные отложения; 2 — гранит-порфиры кольского комплекса; 3 — габброиды дукукского комплекса; 4 — интрузии дукукского комплекса сложного состава (метагаббро, метапироксениты, метагорнблендиты, метаперидотиты); 5 — метатерригенные породы камчатской серии; 6 — разрывные нарушения. 7–12 — только на карте: 7 — рудное тело (под земной поверхностью); 8 — перидотиты дукукского комплекса (под земной поверхностью); 9 — зоны тектонической раздробленности; 10 — приконтактовые изменения; 11 — наклонные элементы залегания метаморфической полосчатости и углы падения; 12 — линия разреза. 13–18 — только на разрезе: 13 — массивные руды; 14 — брекчиевые; 15 — прожилково-вкрапленные; 16 — вкрапленные; 17 — диориты и габбродиориты дукукского комплекса; 18 — земная поверхность.

и др., 2011). Никеленосная интрузия сложена породами ряда кортландит — амфиболовый пироксенит — горнблендит (Селянгин, 2006). Контакты интрузива со сланцами камчатской серии местами брекчированы и сорваны. В зоне эндоконтакта, мощностью до 10 м, развиты рудоносные флогопит-хлорит-серпентин-тремолит-антофиллитовые породы, содержащие вкрапленность, гнезда и прослои сульфидов. В экзоконтакте в сланцах отмечаются прожилки биотит-амфиболовых диоритов мощностью до 1 см, пятна гранофира, рассеянная вкрапленность сульфидов. Мощность зоны экзоконтактовых изменений достигает 1.5 м. Оруденение сосредоточено в кортландитах и породах эндоконтакта (Селянгин, 2006).

Возраст интрузивных образований дукукского комплекса является предметом дискуссии. Интрузии прорывают метаморфизованные образования камчатской серии и хейванской свиты и рвутся эоценовыми гранитоидами кольского комплекса (Сляднев и др., 2006; Трухин и др., 2009). В результате изотопного датирования получены данные о позднемиоценовом (Корякско-Камчатский ..., 2002; Сляднев и др., 2006) и раннепалеогеновом (Конников и др., 2006) возрасте пород. В то же время, имеется много определений, соответствующих эоцену (Сляднев и др., 2006; Трухин и др. 2009). Для рудоносной интрузии участка Восточно-Геофизического получен возраст 53.3 Ма (Трухин и др., 2011). Возможно, такой разброс результатов изотопного

датирования дукукского комплекса свидетельствует о двух разновозрастных одноформационных группах интрузий (Округин, Полетаев, 2010; Сляднев и др., 2006). С другой стороны, эоценовые датировки массивов дукукского комплекса практически совпадают с возрастом прорывающих их кольских гранитоидов. Раннеэоценовый возраст кольского комплекса подтверждается геохронологическими исследованиями, в результате которых установлены два региональных этапа проявления гранитоидного магматизма в Срединном хребте. Первый, более древний — кампанский (от 83.1 ± 2.0 до 76.2 ± 1.5 Ма), второй, соответствующий кольским гранитоидам — раннеэоценовый, ~52 Ма (Лучицкая и др., 2008; Соловьев и др., 2015). Возможно, данные изотопного датирования, указывающие на эоценовый возраст пород дукукского комплекса, отражают их метасоматические преобразования в результате регионального этапа гранитизации.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сотрудники Научно-исследовательского геотехнологического центра ДВО РАН (НИГТЦ ДВО РАН) принимали участие в исследованиях керна скважин, полученного в ходе геологоразведочных работ, проведенных ЗАО НПК «Геотехнология» на участке Восточно-Геофизическом. В результате научных исследований, которые проводились по заказу ЗАО НПК «Геотехнология», изучены текстурно-структурные особенности руд, установлена последовательность кристаллизации главных и второстепенных рудных минералов. Особенности составов минералов изучены с использованием рентгеноспектрального микроанализатора САМЕВАХ-244 в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ИВиС ДВО РАН). Содержания меди, никеля и кобальта в рудах установлены методами атомно-абсорбционного и рентгенофлуоресцентного анализов, элементов платиновой группы (ЭПГ) — химико-спектральным методом в лаборатории ОАО «Камчатгеология». По результатам аналитических исследований 232 керновых проб вычислены средневзвешенные содержания компонентов в двухметровых интервалах скважин. Оценки средних содержаний металлов получены путем осреднения средневзвешенных с учетом характера распределения. Для выборок, удовлетворяющих нормальному закону, в качестве оценки среднего принято среднее арифметическое, логнормальному — антилогарифм среднего логарифмов содержаний. 3D-моделирование выполнено с использованием пакетов программ Oasis Montage и ArcGIS. При этом, для каждой элементарной ячейки размером

5×5×5 м 3D-модели получено значение, характеризующее преобладающие в ней содержания сульфидов и полезных компонентов. Вычисления произведены по методу обратных расстояний с использованием эллипсоида поиска, который учитывает линзообразную форму тела.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание никеля, меди, кобальта и платиноидов в различных типах руд. Оценены средние, минимальные и максимальные содержания полезных компонентов (табл. 1). В целом, без выделения разновидностей, содержания никеля в рудах участка Восточно-Геофизического составляют 2.83 масс.%, меди — 0.84 масс.%, кобальта — 0.09 масс.%. Сходные результаты получены по данным девяти анализов с использованием рентгенофлуоресцентного метода — 2.64 масс.% никеля, 0.82 масс.% меди и 0.1 масс.% кобальта.

Наиболее высокими концентрациями главных полезных компонентов отличаются массивные и брекчиевые руды (3.66 масс.% никеля, 1.13 масс.% меди и 0.11 масс.% кобальта). Содержания во вкрапленных и прожилково-вкрапленных разностях близки (табл. 1) и составляют соответственно 1.54 и 1.98 масс.% никеля, 0.36 и 0.55 масс.% меди, 0.05 и 0.07 масс.% кобальта. В сравнении с рудами, перидотиты рудовмещающей интрузии содержат на порядок меньше никеля, примерно в восемь раз меньше меди и в пять — кобальта. Средние содержания полезных металлов в метатерригенных породах камчатской серии на удалении от рудного тела составляют сотые доли процента (Новаков и др., 2014). В то же время, в экзоконтакте рудной залежи в них отмечена сульфидная минерализация мощностью от 0.8 до 5.5 м. Содержания никеля при этом варьируют от 0.12 до 1.76 масс.%. Повышенными концентрациями палладия отличаются массивные, брекчиевые и прожилково-вкрапленные руды, платины — прожилково-вкрапленные (табл. 1). Максимальные содержания как родия, так и рутения в рудах составляют 0.07 г/т (табл. 1).

Характеристика структурно-текстурных особенностей и минерального состава руд. Общей чертой массивных и брекчиевых руд является сидеронитовая структура. Брекчиевые руды отличаются от массивных меньшим содержанием сульфидов, при этом силикатные включения в сульфидном матриксе мельче и рассеяны более равномерно. Нередко отмечаются промежуточные текстурные разновидности. По соотношениям минеральных компонентов выделяются халькопирит-пентландит-пирротинные и пентландит-халькопирит-пирротинные разности.

Таблица 1. Содержания никеля, кобальта, меди и платиноидов в различных типах руд на участке Восточно-Геофизическом.

Тип руд по текстурно-структурным особенностям	Колич. анализов		Ni, масс. %	Cu, масс. %	Co, масс. %	Вид анализа	Rd, г/т	Pt, г/т	Rh, г/т	Ru, г/т	Вид анализа
По всем типам руд без разделения	123	оценка среднего	2.83	0.84	0.09	АА	0.28	0.15	0.006	0.008	ХСП
	232	максимум	6.53	2.24	0.21	АА	0.7	0.5	0.07	0.07	ХСП
		минимум	0.52	0.15	0.016	АА	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	ХСП
Массивные и брекчиевые руды	9	среднее	2.64	0.82	0.1	РФА					
	66	оценка среднего	3.66	1.13	0.11	АА	0.30	0.14	0.006	0.009	ХСП
	129	максимум	6.53	2.24	0.21	АА	0.7	0.5	0.07	0.05	ХСП
минимум		0.66	0.17	0.028	АА	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	ХСП	
Вкрапленные руды	15	оценка среднего	1.54	0.36	0.05	АА	0.22	0.13	0.006	0.011	ХСП
	32	максимум	5.12	1.51	0.15	АА	0.5	0.3	0.02	0.05	ХСП
		минимум	1.03	0.26	0.031	АА	0.07	0.015	н.п.о.	н.п.о.	ХСП
Прожилково-вкрапленные руды	42	оценка среднего	1.98	0.55	0.07	АА	0.25	0.16	0.007	0.006	ХСП
	71	максимум	5.94	1.96	0.18	АА	0.5	0.5	0.03	0.07	ХСП
		минимум	0.52	0.15	0.016	АА	0.02	0.007	н.п.о.	н.п.о.	ХСП
Пределы обнаружения			1.2×10 ⁻⁶	2.5×10 ⁻⁷	1.2×10 ⁻⁶	АА	0.01	0.005	0.01	0.01	ХСП

Примечание. Оценки средних содержаний получены путем осреднения средневзвешенных с учетом характера распределения. Средневзвешенные содержания компонентов в двухметровых интервалах скважин вычислены по результатам аналитических исследований 232 керновых проб. Для выборки, удовлетворяющих нормальному закону распределения, рассчитаны средние; логнормальному (ячейки выделены серым) — в качестве оценки среднего приняты антилогарифм среднего логарифмов содержаний. Н.п.о. — значение ниже предела обнаружения. Методы анализа: АА — атомно-абсорбционный, РФА — рентгенофлуоресцентный, ХСП — химико-спектральный на платиноиды. Таблица составлена с использованием данных ЗАО НПК «Геотехнология», а также по (Новаков и др., 2014), с уточнениями. Исследования рентгенофлуоресцентным методом выполнены на спектрометре S4 «Pioneer» в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН Е.В. Каргашевой и Н.И. Чебровой, атомно-абсорбционным и химико-спектральным — в лаборатории ОАО «Камчатгеология» (С.С. Головатова).

Содержание рудных минералов в *массивных рудах* составляет 80–95%. Минеральный состав (в % от объема сульфидов): пирротин — 60–80, пентландит — 15–35, халькопирит — 1–10. Наблюдаются единичные зерна магнетита, ильменита, гематита, гетита, пирита и никелина. Встречаются редкие прожилки виоларита. В *брекчиевых рудах* содержание рудных минералов составляет 40–70%. Минеральный состав (в % от объема сульфидов): пирротин — 60–70, пентландит — 5–30, халькопирит — 10–15. Отмечаются единичные зерна магнетита, хромита, сфалерита, кубанита, никелина, герсдорфита и виоларита, а также прожилки гетита, пирита, виоларита.

Вкрапленные и прожилково-вкрапленные руды в значительной мере сходны. Во вкрапленных разностях сульфидные выделения изолированы друг от друга. При большем их количестве они сливаются с образованием более крупных «гнездовых» или линейно-вытянутых обособлений и формируют прожилково-вкрапленную текстуру. Количество рудных минералов в рудах составляет 5–20%. Минеральный состав (в % от объема сульфидов): пирротин — 50–60, пентландит — 20–25, халькопирит — 10–15, пирит — 10–20. Отмечаются редкие зерна магнетита, выделения виоларита, гетита, единично — кубанита (?).

За пределами рудного тела наблюдается *редкая вкрапленность* сульфидов в метапериidotитах, которые представляют собой в различной степени измененные кортландиты и амфиболовые пироксениты дукусского комплекса. Количество сульфидов в породах при этом составляет от 1 до 5%. Сульфидные вкрапленники имеют размеры от десятых долей миллиметра до 4 мм и часто приурочены к участкам наиболее интенсивного метасоматического преобразования вмещающих пород. Структура сульфидных выделений гипидиоморфнозернистая, прожилковая, петельчатая, графическая. Минеральный состав (в % от объема вкраплений сульфидов): пирротин — 75–80, пентландит — 15–25, халькопирит — 5, виоларит — 1–2, магнетит — 5.

Состав и соотношения главных рудных минералов. Пирротин образует идиоморфные кристаллы размером до 3–4 мм (рис. 2а–г). На рис. 2б видна округлая форма силикатных выделений в пирротиновой матрице, свидетельствующая о ликвационных процессах рудообразования. Интерстиции между выделениями пирротина выполнены агрегатами пентландита первой генерации и халькопирита (рис. 2б–г). По данным микрозондовых исследований, в составе пирротина 58.20 масс.% железа, 40.61 масс.% серы и 0.36 масс.% никеля (табл. 2).

Пентландит представлен двумя генерациями. Агрегаты раннего пентландита состоят из ксеноморфных зерен размером 0.02–1 мм,

разбитых системами трещин, которые иногда выполнены виоларитом (рис. 2а). Более поздний пентландит представлен пламенивидными, пластинчатыми и линзовидными выделениями в пирротинах (структура распада твердого раствора, рис. 2г). Кроме того, отмечаются мелкие (сотые доли миллиметра) ксеноморфные зерна, которые развиты вместе с гематитом вдоль мелких трещин, а также в корродированной периферической зоне кристаллов пирротина. Иногда выделения позднего пентландита приурочены к периферии кварцевых прожилков в пирротиновых зернах. Повышенные средние содержания никеля (33.77 масс.%) и кобальта (1.05 масс.%) характерны для пентландита первой генерации (табл. 2). Выделения позднего пентландита в пирротине обеднены никелем (среднее — 25.93 масс.%) и кобальтом (среднее — 0.41 масс.%). В то же время, они обогащены железом (в среднем 38.85 масс.%).

Халькопирит наблюдается в форме ксеноморфных выделений между ранними сульфидными минералами (рис. 2б–г), а также образуется по трещинам. Иногда в халькопирите наблюдаются включения никелина с оторочкой герсдорфита (рис. 2г). Минерал содержит 33.17 масс.% меди; 31.72 масс.% железа и 35.81 масс.% серы (табл. 2).

Последовательность минералообразования и генезис рудной минерализации. По результатам минераграфических исследований в рудах на участке Восточно-Геофизическом прослеживаются сингенетические (пентландит-пирротиновая, магнетит-пентландит-халькопирит-пирротиновая) и эпигенетические (пирит-марказитовая) минеральные ассоциации (табл. 3). Указанные рудные минеральные ассоциации характерны для Шанучского рудного поля в целом, а также для медно-никелевых руд, связанных с комплексом малых интрузий пироксенит-кортландитовой ассоциации Дамбукинского рудного района Становой никеленосной провинции (Моисеенко и др., 2004; Степанов, Мельников, 2010). Вопросы рудогенеза пока дискуссионны. Предполагается, что указанные рудные минеральные ассоциации последовательно формируются в результате магматогенных и высокотемпературных гидротермально-метасоматических преобразований, сменяющихся низкотемпературными гидротермальными процессами (Новаков и др., 2014; Степанов, Мельников, 2010; Степанов и др., 2010).

В сравнении с участком Восточно-Геофизическим, процессы гидротермального рудообразования значительно шире представлены в рудном теле № 1 Шанучского месторождения (Трухин и др., 2011), где в рудах установлен широкий спектр гидротермальных минералов (табл. 3). Здесь распространены эпигенетические руды,

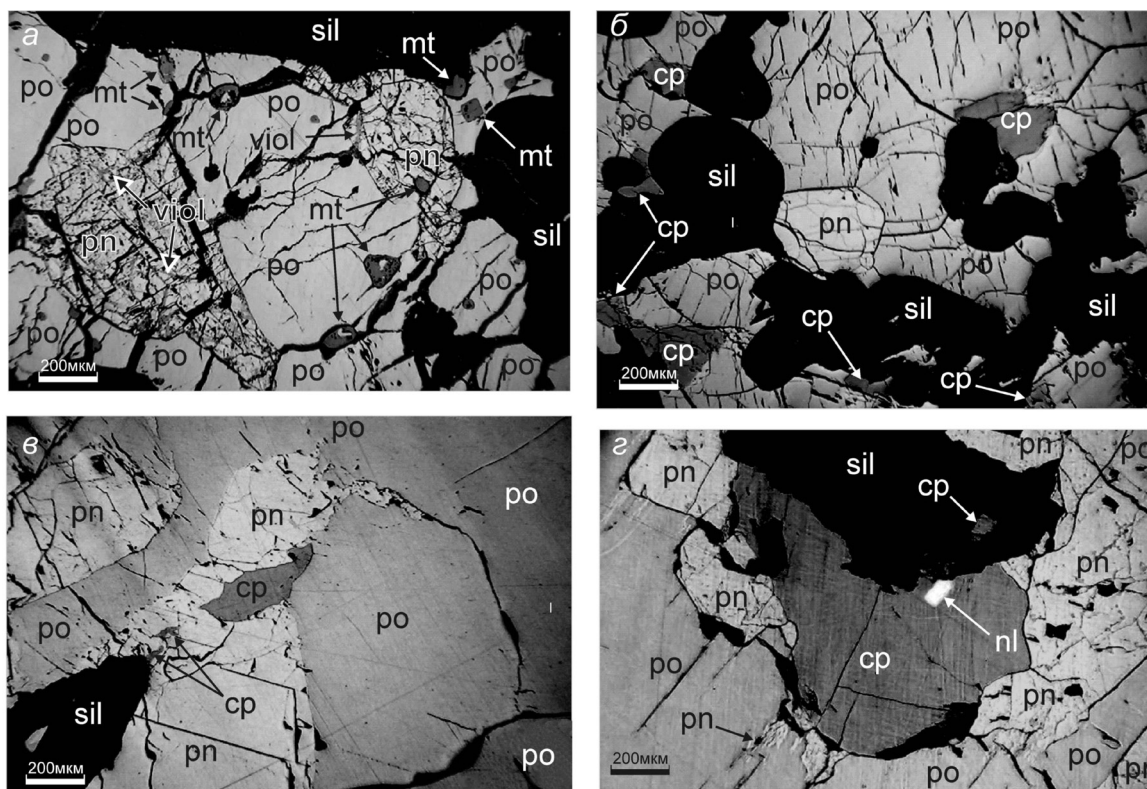


Рис. 2. Соотношения главных рудообразующих минералов (фото под микроскопом в отраженном свете): *а* — пирротин (po) с выделениями раннего магнетита (mt) и пентландита (pn), в котором по трещинам развивается виоларит (viol); *б* — округленные обособления силикатов (sil) в сульфидном матриксе, сложенном пирротинном, пентландитом и халькопиритом (cp); *в* — сростание пирротина и пентландита с ксеноморфными выделениями халькопирита; *г* — зерна пентландита первой генерации в пирротине с пламеневидными выделениями пентландита второй генерации, зерно халькопирита с включением никелина (nl).

Таблица 2. Состав главных рудных минералов на участке Восточно-Геофизическом.

№пп	минерал	Содержания компонентов, масс.%					количество анализов
		S	Fe	Co	Ni	Cu	
1	пирротин	39.64–42.42 40.61	57.22–58.78 58.20	—	0.18–0.64 0.36	—	7
2	халькопирит	35.45–36.33 35.81	31.40–32.20 31.72	—	0.00–0.04 0.01	32.83–33.86 33.17	7
3	ранний пентландит	33.30–36.33 34.11	29.43–33.01 31.46	0.32–1.70 1.05	32.47–34.86 33.77	—	11
4	поздний пентландит	34.11–36.19 35.34	35.08–41.77 38.85	0.19–0.56 0.41	22.44–29.91 25.93	—	6

Примечание. В числителе — минимальные и максимальные значения, в знаменателе — среднее. Программы для анализа составлены В.М. Чубаровым. Аналитические исследования проведены на рентгеновском микроанализаторе SAMEBAХ-244 в ИВиС ДВО РАН Т.М. Филофовой.

сложенные пирротинном, виоларитом, никелистым пиритом и халькопиритом (Трухин и др., 2011). Характерны текстуры (крустификационная, поточная, сетчатая, пересекающихся прожилков, колломорфная, петельчатая) и структуры (концентрически-зональная, оторочковая), типичные для гидротермальных образований.

Пространственное распределение никеля, меди, кобальта платиноидов и сульфидов в рудном теле. Пространственное размещение

сульфидов в рудном теле в виде блок-модели представлено на рис. 3а–в. По данным геологоразведочных работ каждому типу руд присвоен цифровой код, соответствующий среднему содержанию сульфидов. В дальнейшем этот код был использован для расчета блок-модели. Элементарные блоки модели окрашены в соответствии с содержанием сульфидов в рудах (шкала). 5–10% сульфидов соответствует вкрапленным рудам, 10–20% — прожил-

Таблица 3. Схема последовательности минералообразования, состав минеральных ассоциаций рудного тела участка Восточно-Геофизического и Шанучского месторождения.

Распространение	Класс	Шанушское месторождение	Участок Восточно-Геофизический	Дорудная стадия	Рудная стадия			Пострудная стадия	Источник сведений о наличии минерала						
					Минеральные ассоциации				Эпигенетические	Гипергенные	Евстигнеева и др., 1988	Полетаев, 2004	Степанов и др., 2010	Трухин и др., 2011	Отчеты НИИ ЦДВО РАН
					Сингенетические	Магнетит-пентландит-халькопирит-пирротиновая	Пирит-марказитовая								
Распространенные	2		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
	Оксиды	+	+	шпинелиды					+			+			
			+	+	ильменит							+	+		
	Сульфиды	+	+			пирротин, пентландит				+		+			
			+	+			халькопирит			+	+	+	+		
			+	+			виоларит			+	+	+	+		
			+	+			пирит (Ni-пирит)			+		+	+		
	Оксиды	+	+			магнетит			+	+	+	+			
		+	+			макинавит					+	+	+	+	
	Сульфиды	+	+				сфалерит					+	+		
			+					галенит				+			
			+	+				марказит				+			
			+					молибденит		+		+	+		
	Редкие	Арсениды		+										+	
+			+			никелин			+		+	+			
+						леллингит					+	+			
+						сперрилит			+		+	+			
Сульфо-арсениды	+				раммельсбергит, сафлорит										
	+	+				герсдорфит			+		+	+			
	+				кобальтин				+	+	+	+			
	+				ирарсит						+				

НОВАКОВ и др.

МЕДНО-НИКЕЛЕВЫЕ РУДЫ

Таблица 3. Окончание

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Очень редкие	Самородные элементы	+			изоферроплатина самор. платина(?)				+			+	
		+					самор. золото			+	+	+	
	Сульфиды	+				миллерит голландскит, хизлевудит(?)			+		+	+	
		+				полидимит, зигенит, линнеит					+	+	
	Сульфиды-арсениды	+				арсенопирит					+		
		+				мелонит, брейгауптит, ульманит, котульскит					+	+	
	Теллуриды, висмутиды, антимониды	+				теллуровисмутит(?), мончеит, меренскиит					+		
		+				майченерит				+	+	+	
		+				алтаит							+
	Сульфиды	+						борнит, халькозин, ковеллин			+	+	
В зоне цементации и окисления		+						грейгит	+		+		
	Оксиды	+	+					гематит					+
		+						куприт, тенорит					+
	Гидроксиды	+	+					лимонит, гетит					+
		+						лепидо-крокит(?)					+
	Гидрокарбонаты	+						азурит, малахит					+
	Арсенаты	+						аннабергит					+
	Силикаты	+						хризоколла					+
	Сульфаты	+						моренозит, ретгерсит, ярозит					+
	Самородные элементы	+						самор. медь			+		

Примечания. + — наличие минерала.

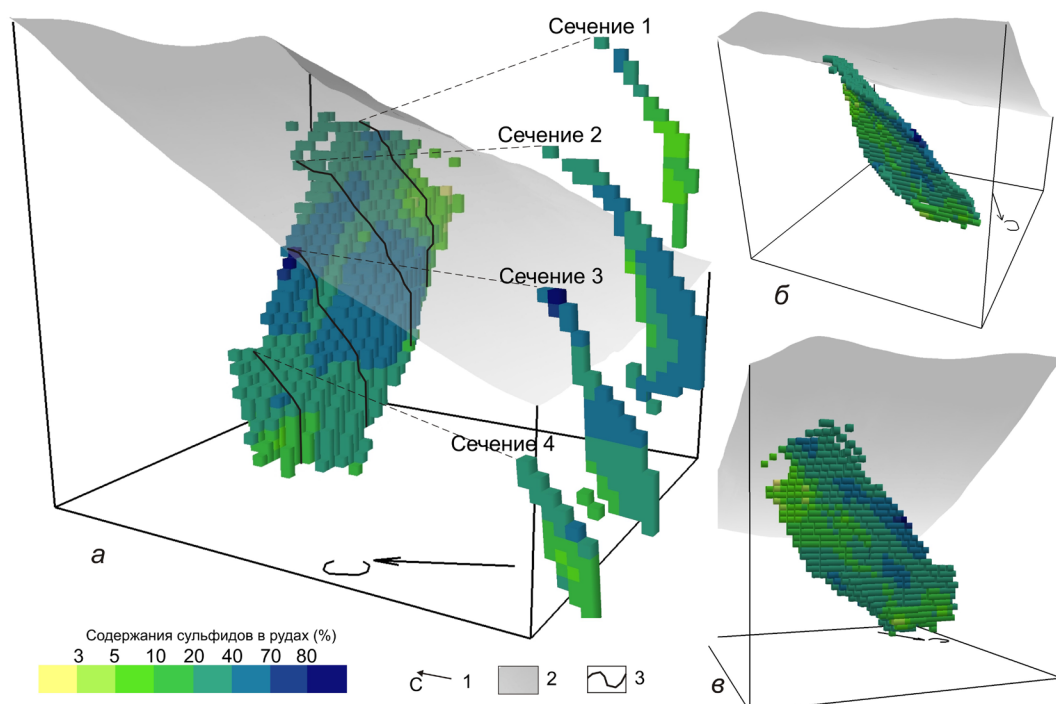


Рис. 3. Содержание сульфидов в рудном теле в форме дискретной 3D-модели: вид с запада и сечения (а); вид с севера (б); вид с северо-востока (в). Условные обозначения: 1 — направление на север; 2 — земная поверхность; 3 — линии сечений. 3D-модель разработана с использованием материалов ЗАО НПК «Геотехнология».

ково-вкрапленным, 40–70% — брекчиевым; 80–95% — массивным. Остальное — промежуточные разности. Участки, где содержания сульфидов соответствуют наиболее распространенным брекчиевым рудам, размещаются преимущественно в центральной части рудного тела. Вкрапленные и прожилково-вкрапленные разности преобладают в лежащем боку, восточной и западной оконечностях рудного тела. В сечениях повышенные содержания сульфидов тяготеют к висячему боку. Массивные руды не имеют широкого распространения.

Можно отметить следующие особенности пространственного распределения никеля, меди, кобальта и платиноидов в рудном теле (рис. 4):

- повышенные содержания меди, никеля и кобальта тяготеют к центральной части рудного тела (рис. 4а–в), в сечении 1 — к его верхней части, а в сечениях 2, 3 и 4 — преимущественно к висячему боку;

- наиболее высокие содержания платиноидов в сумме (0.6–0.8 г/т) характерны для нижней части рудного тела (рис. 4г). В сечениях 1, 2 и 3 повышенные содержания тяготеют к центральной, а в сечении 4 — к краевым частям рудного тела;

- повышенные содержания платины характерны для нижней части рудного тела (рис. 4д). В сечении 2 она образует локальные концентрации в нижней и верхней частях залежи;

- повышенные содержания палладия характерны для нижней части рудного тела (рис. 4е). В сечениях палладий тяготеет к краевым частям;

- повышенные содержания рутения характерны для центральной части рудного тела (рис. 4ж). В сечении 1 он образует локальные концентрации в верхней, в сечениях 2 и 3 в верхней и нижней, а в сечении 4 — в нижней части залежи;

- повышенные содержания родия характерны для средней части рудного тела (рис. 4з). В сечениях 1 и 2 локальные концентрации отмечаются в верхней, средней и нижней, в сечении 3 — в нижней, а в сечении 4 — в средней и верхней частях залежи.

В целом, можно отметить, что повышенные содержания платиноидов типичны для нижней части рудного тела, а меди, никеля и кобальта — для средней. Пространственные распределения меди, никеля, кобальта и ЭПГ лишь до некоторой степени зависят от текстурно-структурных особенностей руд (Новаков и др., 2014). Вероятно, это является следствием перераспределения сульфидов в результате последующих постмагматических процессов, осложняющих картину магматогенного рудоотложения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рудное тело участка Восточно-Геофизического Шанучского рудного поля представляет собой линзообразную залежь субширотного простирания размером 220×100 м, мощностью 5–10 м (в раздувах до 35 м) преимущественно халькопирит-пентландит-пирротинового состава. Сульфиды генетически связаны с интрузией

МЕДНО-НИКЕЛЕВЫЕ РУДЫ

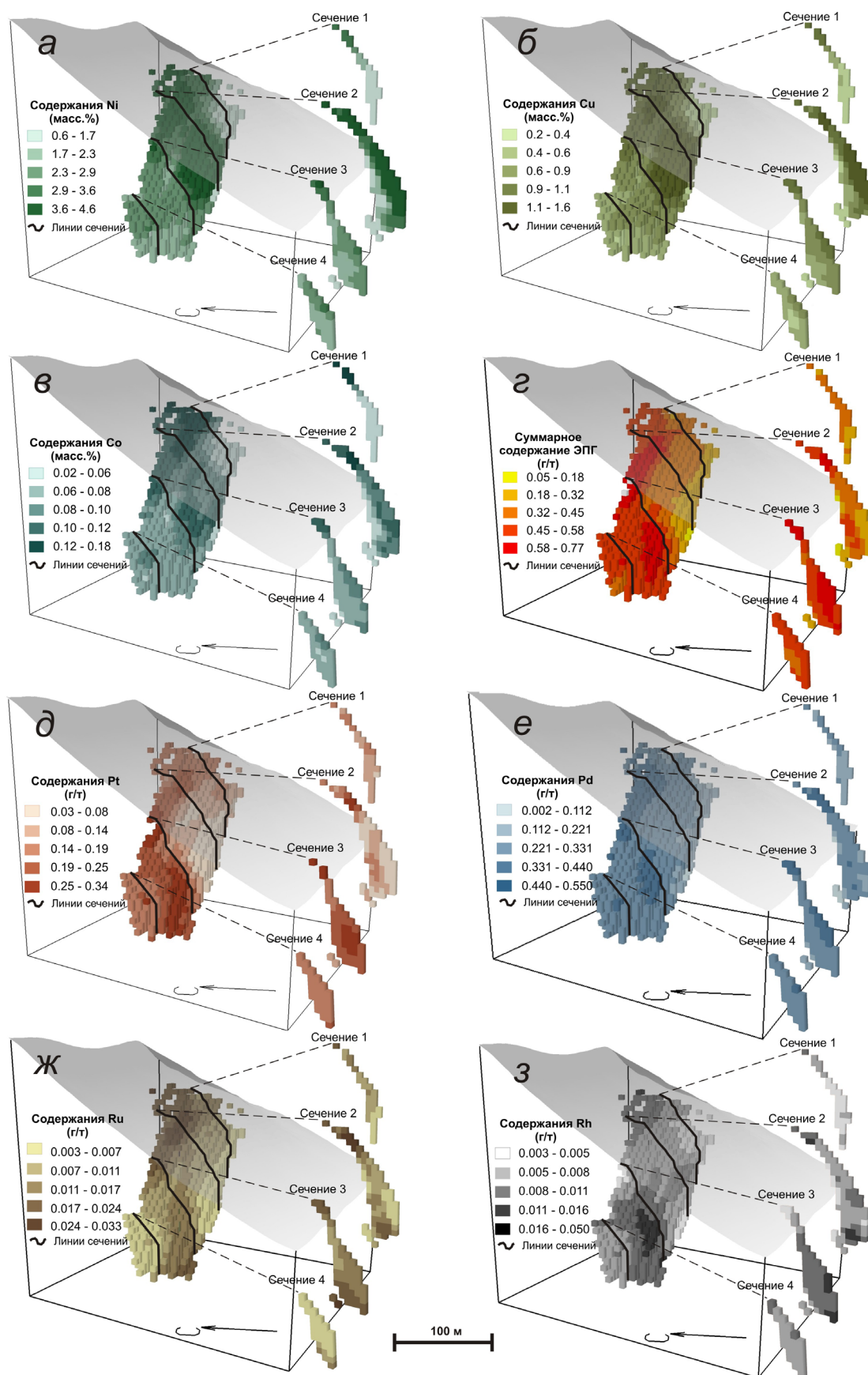


Рис. 4. Характер пространственного распределения никеля, меди, кобальта и платиноидов в рудном теле. Вид с юго-запада: *а* — распределение никеля, *б* — меди, *в* — кобальта, *г* — платиноидов (в сумме), *д* — платины, *е* — палладия, *ж* — рутения, *з* — родия. 3D-модель разработана с использованием материалов ЗАО НПК «Геотехнология».

дукукского комплекса никеленосной норит-кортландитовой формации, которая сложена породами ряда кортландит — амфиболовый пироксенит — горнблендит. По структурно-текстурным особенностям выделяются массивные, брекчиевые, прожилково-вкрапленные и вкрапленные руды. Наиболее высокими концентрациями главных полезных компонентов отличаются массивные и брекчиевые руды (3.66 масс.% никеля, 1.13 масс.% меди и 0.11 масс.% кобальта). Относительно повышенные содержания палладия характерны для массивных, брекчиевых и прожилково-вкрапленных руд, платины — для прожилково-вкрапленных.

Для характеристики пространственного распределения различных типов руд, кобальта, меди, никеля и платиноидов построена трехмерная блок-модель рудного тела. Наиболее распространенные брекчиевые руды размещаются преимущественно в его центральной части. Прожилково-вкрапленные и вкрапленные разности располагаются в восточной и западной оконечностях рудного тела. Массивные руды тяготеют к краевым частям. Никель, медь и кобальт сконцентрированы в центральной части рудного тела, а в сечениях — в его висячем боку. Наиболее высокие содержания платиноидов (0.6–0.8 г/т) характерны для нижней части рудного тела.

Авторы выражают признательность сотрудникам ЗАО НПК «Геотехнология» за предоставленные материалы, консультации и обсуждение.

Список литературы

- Байков А.И., Кутыев Ф.Ш., Сидоров Е.Г., Яроцкий Г.П.* Медно-никелевое сульфидное оруденение // Никеленосность базит-гипербазитовых комплексов Украины, Урала, Сибири и Дальнего Востока / Под ред. Митрофанова Ф.П., Горбунова Г.И. Апатиты: Кольский филиал АН СССР, 1988. С. 59–61.
- Евстигнеева Т.Л., Минеев С.Д., Чубаров В.М. и др.* Некоторые вопросы минералогии и генезиса сульфидных никелевых руд Центральной Камчатки // Никеленосность базит-гипербазитовых комплексов Украины, Урала, Сибири и Дальнего Востока / Под ред. Митрофанова Ф.П., Горбунова Г.И. Апатиты: Кольский филиал АН СССР, 1988. С. 63–69.
- Игнатьев Е.К., Баженов Е.А., Козлов А.Н. и др.* Геология и медно-никелевое оруденение Срединного массива Камчатки // Никеленосность базит-гипербазитовых комплексов Украины, Урала, Сибири и Дальнего Востока / Под ред. Митрофанова Ф.П., Горбунова Г.И. Апатиты: Кольский филиал АН СССР, 1988. С. 61–63.
- Конников Э.Г., Чубаров В.М., Травин А.В. и др.* Время проявления никеленосной норит-кортландитовой формации на востоке Азиатского континента // Геохимия. 2006. № 3. С. 564–570.
- Корякско-Камчатский регион — новая платиносная провинция России. Коллектив авторов. СПб: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2002. 383 с.
- Луцицкая М.В., Соловьев А.В., Хоуриган Дж.К.* Два этапа формирования гранитоидов Срединного хребта Камчатки: их тектоническая и геодинамическая позиция // Геотектоника. 2008. № 4. С. 49–69.
- Моисеенко В.Г., Степанов В.А., Эйриш Л.В., Мельников А.В.* Платиноносность Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2004. 176 с.
- Новаков Р.М., Трухин Ю.П., Сидоров М.Д.* Геохимия благородных металлов в медно-никелевых рудах участка Восточно-Геофизического (Шанучское рудное поле, Камчатка) // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 2014. № 3. С. 44–51.
- Округин В.М., Полетаев В.А.* Полигенность и полихронность медно-никелевого оруденения Камчатки // Материалы XXI Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика Владимира Ивановича Смирнова «Фундаментальные проблемы геологии месторождений полезных ископаемых и металлогении». М.: МГУ, 2010. С. 49.
- Полетаев В.А.* Сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения и рудопроявления перидотит-пироксенит-норитовой формации Центральной Камчатки. Платина России. Т. 3. М.: Геоинформмарк, 1999. С. 191–199.
- Полетаев В.А.* Камчатская платиноидно-никеленосная зона — геология и рудоносность: Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. Москва, 2004. 22 с.
- Селянгин О.Б.* Кортландит-амфиболовый пироксенит-горнблендитовая серия расслоенного никеленосного интрузива Восточно-Геофизический, Шанучское рудное поле, Камчатка // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 2. Вып. № 8. С. 9–28.
- Сляднев Б.И., Шаповаленко В.Н., Крикун Н.Ф. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000 000 (третье поколение). Серия Корякско-Камчатская. Лист N-57 — Петропавловск-Камчатский. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. 187 с.
- Смышляев А.А.* Наследники первопроходцев. Камчатгеология: маршрут в 60 лет (1951–2011) // Петропавловск-Камчатский: Холдинговая компания «Новая книга», 2011. 113 с.
- Соловьев А.В., Луцицкая М.В., Селянгин О.Б., Хоуриган Дж.К.* Позднемеловой гранитоидный

- магматизм Срединного хребта Камчатки: геохронология и особенности состава // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2015. Т. 23. № 1. С. 60–82.
- Степанов В.А., Гвоздев В.И., Трухин Ю.П. и др. Минералы благородных и редких металлов в рудах Шанучского медно-никелевого месторождения (Камчатка) // Записки Российского минералогического общества. 2010. Ч. CXXXIX. № 2. С. 43–58.
- Степанов В.А., Мельников А.В. Никеленосность Верхнего Приамурья. Владивосток: Дальнаука, 2010. 215 с.
- Трухин Ю.П., Степанов В.А., Сидоров М.Д. Камчатская никеленосная провинция // ДАН. 2008. Т. 418. № 6. С. 802–806.
- Трухин Ю.П., Степанов В.А., Сидоров М.Д., Кунгурова В.Е. Шанучское медно-никелевое месторождение: геолого-геофизическая модель, состав и геохимия руд // Руды и металлы. 2009. № 5. С. 75–81.
- Трухин Ю.П., Сидоров М.Д., Степанов В.А., Кунгурова В.Е. Строение и никеленосность Кувалорогского базит-ультрабазитового массива // Геология и разведка. 2009. № 6. С. 43–49.
- Трухин Ю.П., Степанов В.А., Сидоров М.Д., Кунгурова В.Е. Шанучское медно-никелевое рудное поле (Камчатка) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2011. № 1. С. 20–26.

THE VOSTOCHNO-GEOPHIZICHESKY ALLOTMENT OF THE SHANUCH SULPHIDE COPPER-NICKEL DEPOSIT (KAMCHATKA)

R.M. Novakov¹, Y.P. Trukhin¹, V.E. Kungurova¹, M.D. Sidorov¹, S.V. Palamar¹, T.M. Filosofova²

¹Research Geotechnological Center Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683002; e-mail: nigtc@kscnet.ru.

²Institute of Volcanology and Seismology Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006.

This paper presents data on geological structure, geochemistry, textural and structural features, and mineralogy of copper-nickel ores within the Vostochno-Geophizichesky allotment of the Shanuch ore field at the Kamchatka nickeliferous province. The average content of copper, nickel, cobalt and platinum group metals in ores were estimated. The authors revealed the sequence of crystallization of both the essential (pyrrhotite, chalcopyrite, pentlandite) and minor (violarite, pyrite, nickeline etc.) ore minerals. The main features of ore minerals compositions were studied using an X-ray microprobe. Besides, the authors constructed a 3D model of an ore body and examined its shape and size as well as spatial distribution of metals in the ore body.

Keywords: *Shanuch ore field, Vostochno-Geophizichesky, 3D model, nickel, copper, platinum group metals.*